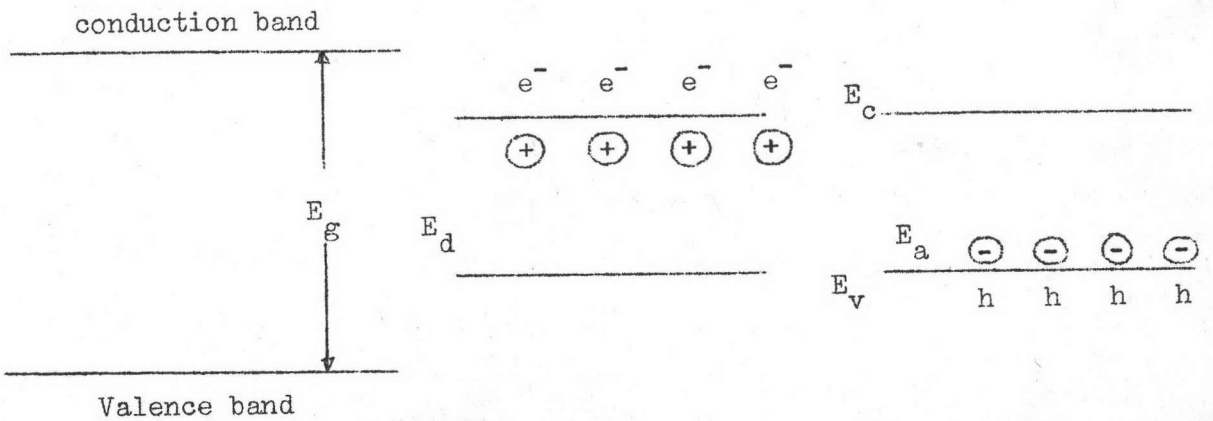
บทที่ 3

เครื่องวัดรังสี

3.1 หัววัดรังสีชนิด เซมิคอนดัคเตอร์ (Semiconductor Detector)

โครงสร้างของผลึกพวก Semiconductor แสดงได้โดยแถบของพลังงาน 2 แถบ แถบแรกที่เรียกว่า Valence band, E_c และแถบที่สองซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเรียกว่า Conduction band E_c แสดงดังภาพในรูปที่ 3-1 (ก) แถบทั้งสองนี้แยกจากกันด้วยช่วงของพลังงาน, E_g (Energy Gap) สำหรับซิลิคอน แถบช่วงของพลังงานมีค่า 1.1 eV ของเจอร์มาเนียม มีค่าเท่ากับ 0.66 eV

รูปที่ 3-1 แสดงแถบของพลังงาน, ตัวจ่ายอิเลคตรอน (donor) และตัวรับอิเลคตรอน (acceptor) ของแถบที่มีสิ่งเจือปน



(ก) (ข) (ค)

การไหลของกระแสไฟฟ้าใน Semiconductor มีได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกอิเลคตรอนใดๆ ใน Conduction band จะเคลื่อนที่ได้โดยเสรี เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า วิธีที่สอง อิเลคตรอนบางตัวถูกดึงจาก Valence band ทำให้เกิดมีช่องว่างที่เรียกว่า Hole Hole ใน Valence band จะเคลื่อนที่ได้โดยอิสระโดยการกระทำของสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกับอิเลคตรอนใน Conduction band ในผลึก electron และ hole ทำให้เกิดขึ้นได้โดยการเจือสารไม่บริสุทธิ์ลงไป การเติมสิ่งเจือปนลงในผลึกนี้เรียกว่า Doping

พวกธาตุที่มีวาเลนซี 5 เช่น ฟอสฟอรัส อาเซนิค และแอนติโมนี เมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไปแทนที่อะตอมของซิลิคอน หรือ เจอร์มาเนียม ทำให้มีอิเลคตรอนเกินพอที่จะจับกับอะตอมอื่น 1 ตัว ในโครงสร้างของผลึก อะตอมของสิ่งที่เจือไปในผลึก จะให้อิเลคตรอน 1 ตัว จาก Valence electron แก่ Conduction band จึงเรียกพวกนี้ว่า เป็นพวกที่ให้อิเลคตรอน (donor) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3-1 (ข) เป็นผลทำให้มีประจุบวกของกลุ่มอะตอมที่เจือเข้าไปอยู่ในระดับอันหนึ่งของพลังงาน E_d ซึ่งอยู่ต่ำลงมาจาก E_c E_d จะมีค่าน้อยกว่า E_g ถ้าเป็นซิลิคอนมีค่าประมาณ 0.04 eV และสำหรับเจอร์มาเนียมมีค่าประมาณ 0.01 ev

สำหรับธาตุที่มีวาเลนซี 3 เช่นโบรอน และ แกลเลียม ถ้า dope เข้าไปในผลึก จะทำให้เกิดอิเลคตรอนหายไป 1 ตัว พลังงานเพียงจำนวนเล็กน้อย สามารถที่จะกระตุ้นให้อิเลคตรอนใน Valence electron ขึ้นไปอยู่ที่ระดับของพลังงานอีกขั้นหนึ่ง E_a ซึ่งอยู่เหนือแถบ Valence band ขึ้นมาเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3-1 (ค) พวกนี้เรียกว่าเป็นพวกรับอิเลคตรอน (Acceptor) เช่นเดียวกัน E_a มีค่าต่ำกว่า E_g สำหรับพวกซิลิคอนมีค่า 0.055 eV และพวก เจอร์มาเนียม มีค่าเท่ากับ 0.01 eV

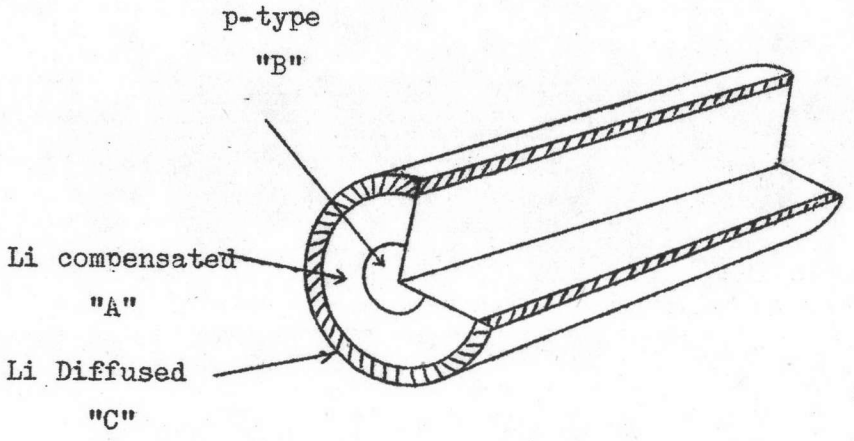
Semiconductor ที่มีกลุ่ม donor มากกว่า Acceptor เรียกว่าเป็นชนิด n (n-type) ประจุที่เป็นตัวที่เคลื่อนที่ คือ อิเลคตรอน Semiconductor ที่มี Acceptor มากกว่า donor เรียกว่าเป็นชนิด p (p-type) ประจุที่เคลื่อนที่ คือ Hole

ภายในผลึกอาจจะมีการเปลี่ยนจาก p-type ไปเป็น n-type ซึ่งเรียกว่า p-n junction เมื่อมีการใช้สนามไฟฟ้าชนิดตรงกันข้ามเช่นใช้ไฟฟ้าแบบนี้เรียกว่า Reverse bias voltage ซึ่งจะทำให้ p-n junction ทำหน้าที่เป็นหัววัดรังสีได้

3.2 หัววัด Ge (Li)

Photon ที่เข้าไปในหัววัด Ge (Li) (Lithium Drifted Germanium Detector) คู่ของ electron-hole ซึ่งพลังงานที่ให้ไปนั้นเป็นไปตามปรากฏการณ์ 3 อย่าง เมื่อ Photon ชนกับสารคือ Photoelectric effect, Compton Scattering และ Pair Production

หัววัดรังสีแกมม่าที่ใช้เป็นแบบ p-i-n junction ทำจาก p-type ของเจอร์มาเนียม ซึ่งมีคุณภาพสูงมาก และมี n-type เป็นลิเธียม ซึมผ่านเข้าไปจากส่วนนอกของผลึก และเข้าไปหาแกนกลางของผลึกโดยการใช้สนามไฟฟ้าสูงๆ และควบคุมด้วยความระมัดระวัง หัววัด Ge (Li) แสดงให้เห็นส่วนข้างใน แสดงดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงภาพผ่าซีกของหัววัด Ge (Li)

ซึ่ง "A" แสดงถึงส่วนที่เรียกว่า intrinsic region

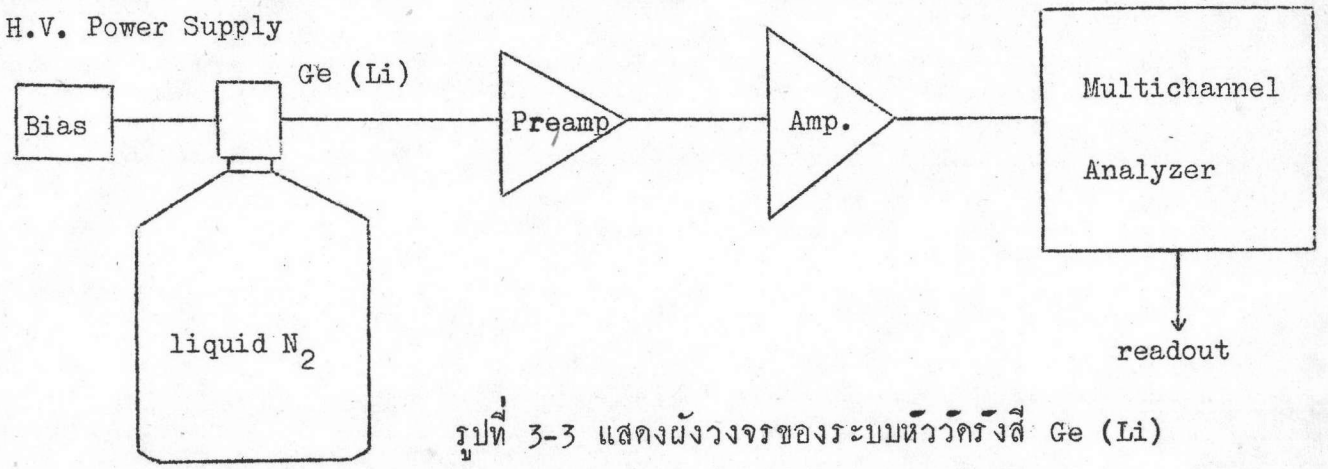
"B" แสดงถึง สารชนิด p-type ซึ่งเป็น เจอร์มาเนียมอยู่ที่แกนกลาง

"C" เป็นส่วนผิวนอก เป็นสารพวก n-type ซึ่งเป็นส่วนที่ลิเธียมจะซึมเข้าไป

โครงสร้างอะตอมของ intrinsic germanium ต้องการอุณหภูมิต่ำๆ เพื่อที่จะรักษาให้อะตอมของลิเธียมอยู่ที่ ซึ่งสภาวะเช่นนี้ต้องอยู่ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว คือ -196°C โดยมีระบบนำความเย็น (Cryostat) และถังเก็บไนโตรเจนเหลว รูปที่แสดงในรูปที่ 3-2 นี้เป็นแบบหนึ่งของ Ge (Li) สร้างโดยบริษัท Ortec เรียกว่าชนิด True Right Circular Cylinder (TRCC) Coaxial detector

001662

การต่อวงจรอิเลคตรอนเข้ากับ หัววัด Ge (Li) แสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงผังวงจรของระบบหัววัดรังสี Ge (Li)

3.3 Energy Resolution ของ Ge (Li) Detector

ค่าของ Energy Resolution ของหัววัด Ge (Li) จะมีขีดจำกัดอันหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของคู่ไอออนที่เกิดขึ้นจากพลังงาน E ของรังสีแกมม่าที่เข้าไป ขีดจำกัดนี้ยังรวมถึง Fano Factor ด้วย จากการพิจารณาถึงพลังงานของรังสีแกมม่า E ซึ่งถูกดูดไว้ใน intrinsic region ของ Ge (Li) หมด ส่วนหนึ่งของพลังงานจะไปทำให้เกิดคู่ของไอออนส์ขึ้น พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะไปทำให้โครงสร้างของผลึกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่ง Fano Factor หมายความว่าเป็นสัดส่วนของ variance ของ Yield ซึ่ง Yield, Y นี้เป็นจำนวนคู่ของ electron-Hole ที่เกิดขึ้นจากการรับพลังงานของรังสีแกมม่า E และ C เป็นจำนวน eV ที่ทำให้เกิดไอออนส์ 1 คู่ในเจอร์มาเนียม

$$Y = \frac{E}{C}$$

และ Fano Factor $F = \frac{\sigma^2}{E/C}$ (3-1)

ถ้าพลังงานทั้งหมดของรังสีแกมม่านี้เข้าไปทำให้เกิดเฉพาะ ion-pair เท่านั้น F จะมีค่าเท่ากับ C และ F=1 ถ้าหากว่าโอกาสในการที่ทำให้เกิด ion-pair น้อยมาก

$$C\sigma = C\sqrt{\frac{E}{C} \cdot F} = \sqrt{CEF}$$

$^{12}C = (2.98 \pm 0.01) \times 10^{-3}$ keV/ionpair

---

[12] S.O.W. Antman, Nuclear Instrument and Methods, 40(1966), 272.

Full width Half Maximum FWHM in KeV สำหรับรังสีแกมม่าที่มีพลังงาน E keV เท่ากับ

$$FWHM = 2.355\sqrt{0.00298EF}$$

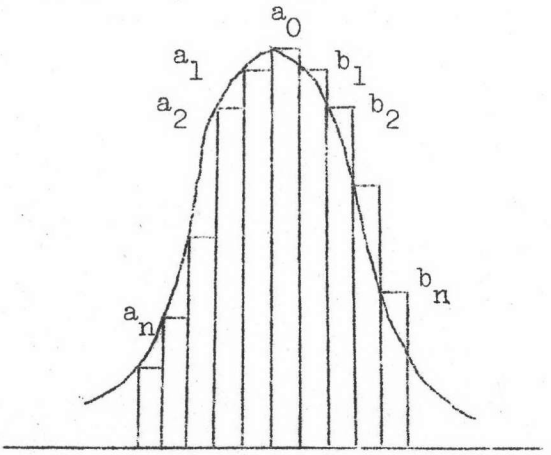
$$= 0.1286\sqrt{EF} \qquad (3.2)$$

สำหรับเจอร์มาเนียม ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว $77^{o}K$ Fano Factor = 0.13

ซึ่งค่าของการแยกพลังงานของหัววัด Ge (Li) นิยมบอกกันเป็นค่าของ FWHM

3.4 การคำนวณหาพื้นที่ใต้ Peak ของแกมม่าสเปคตรัม

การหาความแรงของรังสีแกมม่าก็ดีหรือการหาปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบ Peak จากแกมม่าสเปคตรัมนั้น ถ้าในสารนั้นมีอยู่หลายๆ ธาตุด้วยกัน Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานน้อยกว่าจะถูกกวนด้วย Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานสูงกว่า เพื่อแก้การรบกวนนี้ จึงนิยมใช้การคำนวณหาพื้นที่ภายใต้ Peak ที่เรียกว่า base area ซึ่งในการคำนวณใช้วิธีของ Covell ดังแสดงรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดง Pulse height Analysis ของแกมม่าสเปคตรัม

a_0 เป็นจำนวนนับที่มากที่สุดของ Peak

$a_1, a_2, \ldots a_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่จำนวน Channel น้อยกว่า a_0 และ

$b_1, b_2, \ldots b_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่ Channel ต่างๆ ที่มีค่ามาก

กว่า Channel ของ a_o

ซึ่งพื้นที่ของ Peak นี้ base area เส้นเชื่อมระหว่าง a_n กับ b_n มีค่าเท่ากับ $N = P-Q$

ซึ่ง $$P = a_o + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i$$

และ $$Q = \frac{(2n-1)(a_n + b_n)}{2} + (a_n + b_n)$$

$$= (n + \tfrac{1}{2})(a_n + b_n)$$

$$N = a_o + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i - (n+\tfrac{1}{2})(a_n+b_n) \qquad (3\text{-}3)$$